

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-261977

(43)Date of publication of application : 26.09.2001

(51)Int.Cl.

C08L101/00  
C08J 5/00  
C08K 3/22  
C08K 3/24  
C08L101/12  
G02B 6/12  
H05K 9/00  
// H01Q 1/38  
H01Q 9/16  
H01S 5/20

(21)Application number : 2000-074755

(71)Applicant : MIYAMOTO YOSHIO  
JSR CORP

(22)Date of filing : 16.03.2000

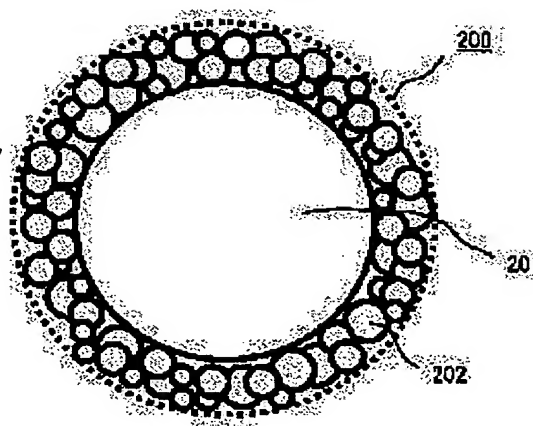
(72)Inventor : MIYAMOTO YOSHIO  
KAJIYAMA KENJI  
KIRIHARA SATOHIDE  
TAGAMI EIJIRO

## (54) THREE-DIMENSIONAL PERIODIC STRUCTURE AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a three-dimensional periodic structure having a high permittivity and readily producible at a low cost and to provide a method for producing the structure.

SOLUTION: This three-dimensional periodic structure is formed by covering the outer peripheral surface of each particle 201 comprising first ceramics composed of  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ , etc., with plural particles 202 comprising second ceramics composed of  $\text{SiO}_2$ , etc., thereby composing ceramic secondary particles 200 and laminating two-dimensional basic structures with a mixture prepared by uniformly dispersing the ceramic secondary particles 200 in a photo-setting resin composition while successively forming the two-dimensional basic structures according to a stereolithographic method.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than]

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THE JAPANESE PATENT OFFICE

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-261977

(P 2001-261977 A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001. 9. 26)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
C 08 L	101/00	C 08 L 101/00	2H047
C 08 J	5/00	C 08 J 5/00	4F071
C 08 K	3/22	C 08 K 3/22	4J002
	3/24		5E321
C 08 L	101/12	C 08 L 101/12	5F073
審査請求 未請求 請求項の数 11 O L		(全 11 頁)	最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-74755 (P2000-74755)

(22) 出願日 平成12年3月16日 (2000. 3. 16)

(71) 出願人 592138994

宮本 欽生

大阪府池田市槻木町1番14-202号

(71) 出願人 000004178

ジェイエスアール株式会社

東京都中央区築地2丁目11番24号

(72) 発明者 宮本 欽生

大阪府池田市槻木町1番14-202号

(72) 発明者 梶山 健二

神奈川県川崎市麻生区王禅寺2418-66

(74) 代理人 100098305

弁理士 福島 祥人

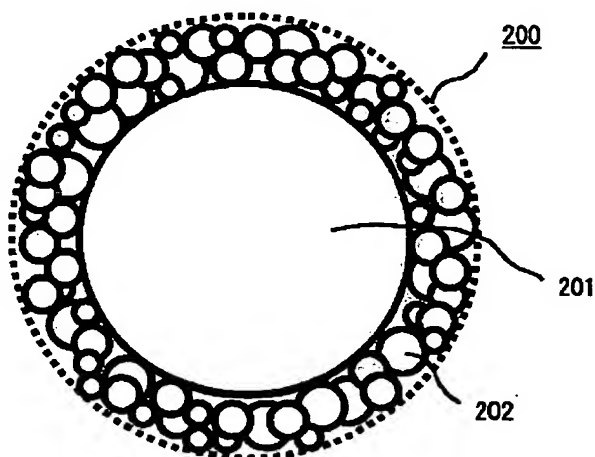
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元周期構造体およびその製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 高い誘電率を有し、容易かつ安価に製造可能な三次元周期構造体およびその製造方法を提供することである。

【解決手段】 第1のセラミックスからなる粒子201の外周面を第2のセラミックスからなる複数の粒子202で被覆することにより、セラミックス二次粒子200が構成される。第1のセラミックスはTiO<sub>2</sub>、SrTiO<sub>3</sub>、BaTiO<sub>3</sub>等からなり、第2のセラミックスはSiO<sub>2</sub>等からなる。セラミックス二次粒子200を光硬化性樹脂組成物中に均一分散させた混合物により二次元基本構造体を光造形法により順次形成しつつ積層し、三次元周期構造体を形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 樹脂組成物および誘電体粒子の混合物を硬化させることにより形成される複数の単位構成要素が三次元周期的に組み合わせられ、前記誘電体粒子が複数種類の誘電体材料の複合体からなることを特徴とする三次元周期構造体。

【請求項 2】 前記複数種類の誘電体材料は第 1 の誘電体材料および第 2 の誘電体材料を含み、前記第 1 の誘電体材料は前記第 2 の誘電体材料よりも高い誘電率を有し、前記第 2 の誘電体材料は前記第 1 の誘電体材料に比べて前記樹脂組成物の硬化を妨げないことを特徴とする請求項 1 記載の三次元周期構造体。

【請求項 3】 前記誘電体粒子は、前記第 1 の誘電体材料からなる粒子の表面が前記第 2 の誘電体材料からなる複数の粒子で取り囲まれてなる二次粒子であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の三次元周期構造体。

【請求項 4】 前記誘電体粒子は、前記第 1 の誘電体材料からなる粒子と第 2 の誘電体材料からなる粒子とが混合されて一体化されてなる二次粒子であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の三次元周期構造体。

【請求項 5】 前記誘電体粒子は、前記第 2 の誘電体材料の熔融凝固体中に前記第 1 の誘電体材料からなる粒子が混入されてなる二次粒子であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の三次元周期構造体。

【請求項 6】 前記第 1 の誘電体材料は第 1 のセラミックスであり、前記第 2 の誘電体材料は第 2 のセラミックスであることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の三次元周期構造体。

【請求項 7】 前記第 1 の誘電体材料はセラミックスであり、前記第 2 の誘電体材料はガラスまたはポリマであることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の三次元周期構造体。

【請求項 8】 前記第 2 の誘電体材料は酸化シリコンであることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載の三次元周期構造体。

【請求項 9】 前記第 1 の誘電体材料は酸化チタン、チタン酸ストロンチウム、チタン酸バリウム、酸化タンタル、酸化鉛および酸化バリウムよりなる群から選択された 1 または複数のセラミックスであることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれかに記載の三次元周期構造体。

【請求項 10】 前記樹脂組成物は光硬化性樹脂組成物であることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれかに記載の三次元周期構造体。

【請求項 11】 複数種類の誘電体材料の複合体からなる誘電体粒子を形成し、光造形法により、樹脂組成物および前記誘電体粒子の混合物を硬化させることにより複数の単位構成要素を周期的に配列してなる二次元基本構造体を形成し、複数の前記二次元基本構造体を積み重ねることにより三次元周期構造体を製造することを特徴とする三次元周期構造体の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フォトニック結晶を構成する三次元周期構造体およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】屈折率が周期的に変化する三次元周期構造体は、電磁波に対する干渉作用を示し、特定の周波数領域の電磁波の通過を禁止する。すなわち、特定の波長の光を遮蔽することができる。この場合の禁止帯はフォトニックバンドギャップと呼ばれ、三次元周期構造体はフォトニック結晶と呼ばれる。また、特定の波長の電磁波を遮蔽する効果はフォトニックバンドギャップ効果と呼ばれる。このような三次元周期構造体は、高効率半導体レーザ素子や光導波路等の光デバイスへの応用が期待されている。

【0003】例えば E. Yablonovitch, "Photonic band-gap structures", J. Opt. Soc. AmB, vol. 10, no. 2, pp. 283-295, 1993 に三次元周期構造体の構成例が提案されている。また、特開平 10-335758 号公報には、スパッタエッチングを用いて 1  $\mu$ m 程度またはそれ以下の周期を有する三次元周期構造体を作製する方法が開示されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、所望の屈折率および所望の三次元的周期を有する構造を容易に作製できる技術が確立されていないため、三次元周期構造体を応用したデバイスは実用化されていない。特に、ミリ波領域からマイクロ波領域の電磁波を制御可能な三次元周期構造体の構造および作製方法については開発されていない。

【0005】高速大容量の通信に適した通信インフラストラクチャを構築するためには、ミリ波帯またはマイクロ波帯の通信の高性能化を図る必要がある。しかし、電磁波の発振出力が数ワットになると、電磁障害が発生する可能性があるため、通信の高性能化および電磁障害防止の両立性を確保する必要がある。電磁障害防止機能を備えた高性能通信機器が求められる。

【0006】また、人工衛星や飛行船を中継基地とする高速大容量通信システム、グローバル移動体通信システム、および高度道路交通システムでは、ミリ波帯またはマイクロ波帯の通信を行う安価な高性能小型通信機器が大量に必要とされ、しかも電磁障害を防止する必要も生じる。

【0007】したがって、光領域のみならず、ミリ波領域からマイクロ波領域の電磁波を制御するデバイスが望まれる。

【0008】本発明者は、光造形法を用いて樹脂およびセラミックス粒子の混合物により形成される複数の単位構成要素を三次元周期的に組み合わせることにより三次

元周期構造体を作製する方法を提案している。

【0009】この作製方法により作製された三次元周期構造体においては、単位構成要素が樹脂およびセラミックス粒子の混合物により形成されるため、樹脂およびセラミックス粒子の配分比率を調整することにより、単位構成要素の誘電率を容易に調整することができる。それにより、単位構成要素の屈折率を任意に調整することができる。また、複数の単位構成要素を任意に組み合わせることができる。

【0010】したがって、任意の波長に対応したフォトニックバンドギャップ効果を得ることが可能になり、任意の波長を有する電磁波を完全に遮蔽することができる。その結果、電磁波の波長選択性および指向性が得られ、かつ電磁波放射の高性能化およびエネルギー利用率の向上が可能となる。また、電磁波漏洩および電磁波障害の防止が図られる。

【0011】このようにして、三次元周期構造体を応用したデバイスの実用化が可能となる。しかしながら、より高い誘電率を有する三次元周期構造体を容易かつ安価に実現することが望まれる。

【0012】本発明の目的は、高い誘電率を有し、容易かつ安価に製造可能な三次元周期構造体を提供することである。

【0013】本発明の他の目的は、高い誘電率の三次元周期構造体を容易かつ安価に製造することが可能な製造方法を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段および発明の効果】本発明者は、高い誘電率を有する三次元周期構造体をより容易かつ安価に製造可能にすべく、単位構成要素を形成するための樹脂および粒子の材料および形態を種々検討しかつ実験した結果、複数種類の誘電体材料を複合化することにより樹脂組成物の硬化反応を良好に維持しつつ単位構成要素を容易に形成することができるという研究知見を得た。そして、その研究知見に基づいて以下の発明を案出した。

【0015】本発明に係る三次元周期構造体は、樹脂組成物および誘電体粒子の混合物を硬化させることにより形成される複数の単位構成要素が三次元周期的に組み合わせられ、誘電体粒子が複数種類の誘電体材料の複合体からなることを特徴とする。

【0016】なお、本発明における樹脂組成物および誘電体粒子の混合物の硬化方法に制限はないが、通常、光または熱によって硬化を行う。ここで、光とは、赤外線、可視光線、紫外線、X線、電子線、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線等である。硬化方法としては、特に紫外線による硬化が好ましい。

【0017】電磁波の波長 $\lambda$ は、 $kC/f$ で表される。ここで、 $k$ は定数、 $C$ は電磁波の伝播する速さ、 $f$ は電磁波の周波数である。波長 $\lambda$ の電磁波に対してフォトニ

ックバンドギャップ効果を発現する三次元周期構造体の周期 $d$ は $\lambda/2n$ に比例する。 $n$ は三次元周期構造体の単位構成要素の材質の光学的屈折率である。この屈折率 $n$ は材質の比誘電率 $\epsilon$ の平方根に比例するので、周期 $d$ は $\lambda/2\sqrt{\epsilon}$ に比例する。このような関係から、三次元周期構造体が有する固有の誘電率を選択するとともに周期を調整することにより、特定の波長に対応したフォトニックバンドギャップ効果を得ることが可能となる。

【0018】本発明に係る三次元周期構造体においては、単位構成要素が樹脂組成物と複数種類の誘電体材料の複合体との混合物を硬化させることにより形成されるので、複合体を構成する誘電体材料として高い誘電率を有する誘電体材料および樹脂組成物の硬化反応を妨げない誘電体材料を選択することができる。それにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率を有する単位構成要素を形成することができる。

【0019】このように、三次元周期構造体の誘電率を高めることにより、三次元周期構造体の周期を短くすることが可能となる。それにより、三次元周期構造体により実現されるフォトニック結晶デバイスの小型化および軽量化が可能となる。

【0020】また、複合体を構成する誘電体材料の配分比率または樹脂組成物および複合体の配分比率を調整することにより、単位構成要素の誘電率を容易に調整することができる。それにより、単位構成要素の屈折率を任意に調整することができる。また、複数の単位構成要素の周期を任意に設定し、複数の単位構成要素を組み合わせることができる。

【0021】したがって、任意の波長に対応したフォトニックバンドギャップ効果を得ることが可能になり、任意の波長を有する電磁波を完全に遮蔽することができる。その結果、電磁波の波長選択性および指向性が得られ、かつ電磁波放射の高性能化およびエネルギー利用率の向上が可能となる。また、電磁波漏洩および電磁波障害の防止が図られる。

【0022】また、単位構成要素の材料として複数種類の誘電体材料の複合体と樹脂組成物との混合物を用いているので、加工または成形が容易であり、製造コストが安くなる。

【0023】このように、高い誘電率を有し、容易かつ安価に製造可能な三次元周期構造体を実現される。

【0024】複数種類の誘電体材料は第1の誘電体材料および第2の誘電体材料を含み、第1の誘電体材料は第2の誘電体材料よりも高い誘電率を有し、第2の誘電体材料は第1の誘電体材料に比べて樹脂組成物の硬化を妨げないことが好ましい。

【0025】この場合、樹脂組成物の硬化反応を良好に維持しつつ、高い誘電率の単位構成要素を形成することができる。

【0026】誘電体粒子は、第1の誘電体材料からなる

粒子の表面が第2の誘電体材料からなる複数の粒子で取り囲まれてなる二次粒子であってもよい。この場合、第1の誘電体材料として高い誘電率を有する材料を選択し、第2の誘電体材料として樹脂組成物の硬化反応を妨げない材料を選択することにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を形成することができる。

【0027】誘電体粒子は、第1の誘電体材料からなる粒子と第2の誘電体材料からなる粒子とが混合されて一体化されてなる二次粒子であってもよい。この場合、第1の誘電体材料として高い誘電率を有する材料を選択し、第2の誘電体材料として樹脂組成物の硬化反応を妨げない材料を選択することにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を形成することができる。

【0028】誘電体粒子は、第2の誘電体材料の溶融凝固体中に第1の誘電体材料からなる粒子が混入されてなる二次粒子であってもよい。この場合、第1の誘電体材料として高い誘電率を有する材料を選択し、第2の誘電体材料として樹脂組成物の硬化反応を妨げない材料を選択することにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を形成することができる。

【0029】第1の誘電体材料は第1のセラミックスであり、第2の誘電体材料は第2のセラミックスであってもよい。この場合、第1のセラミックスとして高い誘電率を有するセラミックスを選択し、第2のセラミックスとして樹脂組成物の硬化反応を妨げないセラミックスを選択することにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を容易かつ安価に形成することができる。

【0030】第1の誘電体材料はセラミックスであり、第2の誘電体材料はガラスまたはポリマであってもよい。この場合、ガラスまたはポリマは樹脂組成物の硬化反応を妨げないので、セラミックスとして高い誘電率を有する材料を選択することにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を容易かつ安価に形成することができる。

【0031】第2の誘電体材料は酸化シリコンであってもよい。酸化シリコンは樹脂組成物の硬化反応を妨げないので、第1の誘電体材料として高い誘電率を有する材料を選択することにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を容易かつ安価に形成することができる。

【0032】第1の誘電体材料は、酸化チタン、チタン酸ストロンチウム、チタン酸バリウム、酸化タンタル、酸化鉛および酸化バリウムよりなる群から選択された1または複数のセラミックスであってもよい。酸化チタン、チタン酸ストロンチウム、チタン酸バリウム、酸化タンタル、酸化鉛および酸化バリウムのうち2以上の化

合物の混合物または固溶体を用いてもよい。酸化チタン、チタン酸ストロンチウム、チタン酸バリウム、酸化タンタル、酸化鉛および酸化バリウムは高い誘電率を有するので、第2の誘電体材料として樹脂組成物の硬化反応を妨げない材料を選択することにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を容易かつ安価に形成することができる。

【0033】樹脂組成物は光硬化性樹脂組成物であってもよい。この場合、光造形法により三次元周期構造体を形成することができる。

【0034】特に、三次元周期構造体が、少なくとも一方向において他の部分と周期性が異なる部分を含んでもよい。この場合、特定の波長を有する電磁波を遮蔽するとともに、他の波長を有する電磁波を透過させることができる。それにより、導波路または共振器を構成することが可能となる。

【0035】複数の単位構成要素が二次元的に配列されて二次元基本構造体が形成され、複数の二次元基本構造体が積層されてもよい。これにより、三次元周期構造体が構成される。この場合、二次元基本構造体を構成する複数の単位構成要素の配列周期および複数の二次元基本構造体の積層周期を調整することにより、フォトニックバンドギャップ効果を発現する電磁波の波長を容易に制御することができる。

【0036】単位構成要素は棒状体であり、複数の棒状体が第1の方向に平行に所定間隔で配列されてなる二次元基本構造体と、複数の棒状体が第1の方向に交差する第2の方向に平行に所定間隔で配列されてなる二次元基本構造体とが交互に積層されてもよい。この場合、棒状体からなる単位構成要素を三次元周期的に容易に組み合わせることができる。

【0037】三次元周期構造体が0.1mm以上30mm以下の周期を有してもよい。この場合、通信に使用される電磁波に対してフォトニックバンドギャップ効果を得ることができる。したがって、三次元周期構造体を通信に使用される電磁波を制御するデバイスに応用することができる。

【0038】特に、三次元周期構造の周期が1mm以上3mm以下に設定された場合、ミリ波領域からマイクロ波領域の電磁波を制御するデバイスへの応用が可能となる。

【0039】本発明に係る三次元周期構造体の製造方法は、複数種類の誘電体材料の複合体からなる誘電体粒子を形成し、光造形法により、樹脂組成物および誘電体粒子の混合物を硬化させることにより複数の単位構成要素を周期的に配列してなる二次元基本構造体を形成し、複数の二次元基本構造体を積み重ねることにより三次元周期構造体を製造するものである。

【0040】本発明に係る三次元周期構造体の製造方法においては、単位構成要素が樹脂組成物と複数種類の誘



電体材料の複合体との混合物を硬化させることにより形成されるので、複合体を構成する誘電体材料として誘電率の高い誘電体材料および樹脂組成物の硬化反応を妨げない誘電体材料を選択することができる。それにより、樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく高い誘電率の単位構成要素を形成することができる。

【0041】このように、三次元周期構造体の誘電率を高めることにより、三次元周期構造体の周期を短くすることが可能となる。それにより、三次元周期構造体により実現されるフォトニック結晶デバイスの小型化および軽量化が可能となる。

【0042】また、単位構成要素が複数種類の誘電体材料の複合体と樹脂組成物との混合物を硬化させることにより形成されるので、複合体を構成する誘電体材料の配分比率または樹脂組成物および複合体の配分比率を調整することにより、単位構成要素の誘電率を容易に調整することができる。それにより、単位構成要素の屈折率を任意に調整することができる。

【0043】また、複数の単位構成要素を周期的に配列してなる二次元基本構造体を形成し、複数の二次元基本構造体を積み重ねることにより三次元周期構造体を製造するので、二次元基本構造体を構成する複数の単位構成要素の配列周期および複数の二次元基本構造体の積層周期を調整することにより、三次元周期を任意に設定することができる。

【0044】したがって、任意の波長に対応したフォトニックバンドギャップ効果を得ることができる。

【0045】さらに、単位構成要素の材料として複数種類の誘電体材料の複合体と樹脂組成物との混合物を用いているので、加工または成形が容易であり、製造コストが安くなる。

【0046】これらの結果、高い誘電率の三次元周期構造体を容易かつ安価に製造することができる。

【0047】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施例における三次元周期構造体の形成に用いるセラミックス二次粒子の第1の例を示す模式図である。

【0048】図1において、第1のセラミックスからなる粒子201の外周面を第2のセラミックスからなる複数の粒子202で被覆することにより、セラミックス二次粒子200が構成される。第1のセラミックスは $TiO_2$ （酸化チタン）、 $SrTiO_3$ （チタン酸ストロンチウム）、 $BaTiO_3$ （チタン酸バリウム）、 $Ta_2O_5$ （酸化タンタル）等からなり、第2のセラミックスは $SiO_2$ （酸化シリコン）等からなる。また、第1のセラミックスとして、 $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $PbO$ （酸化鉛）および $BaO$ （酸化バリウム）のうち2以上の化合物の固溶体または混合物を用いてもよい。このセラミックス二次粒子200は、気相反応法、アトマイズ法等により形成すること

ができる。

【0049】図2は本発明の一実施例における三次元周期構造体の形成に用いるセラミックス二次粒子の第2の例を示す模式図である。

【0050】図2において、第1のセラミックスからなる粒子211と第2のセラミックスからなる粒子212とを混合して焼結することにより、セラミックス二次粒子210が構成される。第1のセラミックスは $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、または $Ta_2O_5$ 等からなり、第2のセラミックスは $SiO_2$ 等からなる。また、第1のセラミックスとして、 $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $PbO$ および $BaO$ のうち2以上の化合物の固溶体または混合物を用いてもよい。このセラミックス二次粒子210は、アトマイズ法等により形成することができる。

【0051】図3は本発明の一実施例における三次元周期構造体の形成に用いるセラミックス二次粒子の第3の例を示す模式図である。

【0052】図3において、第2のセラミックスの熔融凝固体222中に第1のセラミックスからなる粒子221を混入させることにより、セラミックス二次粒子220が構成される。第1のセラミックスは $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、または $Ta_2O_5$ 等からなり、第2のセラミックスは $SiO_2$ 等からなる。第1のセラミックスとして、 $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $PbO$ および $BaO$ のうち2以上の化合物の固溶体または混合物を用いてもよい。このセラミックス二次粒子220は、熔融凝固法により形成することができる。

【0053】ここで、 $SiO_2$ 等の第2のセラミックスは比較的低い誘電率を有するが、樹脂の硬化反応を妨げない。一方、 $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $PbO$ 、または $BaO$ 等の第1のセラミックスは高い誘電率を有する。したがって、第1のセラミックスと第2のセラミックスと複合化してセラミックス二次粒子を構成した場合、樹脂の硬化反応を損なうことなく高い誘電率を有する混合物を得ることができる。

【0054】図1の例において、第1のセラミックスからなる粒子201として誘電率が約125で比重が約4の $TiO_2$ 粒子を用い、第2のセラミックスからなる粒子202として誘電率が約3.9で比重が約2.3の $SiO_2$ 粒子を用いることにより、直径5 $\mu m$ 程度のセラミックス二次粒子200を形成した。

【0055】図4はこのようにして形成されたセラミックス二次粒子200の顕微鏡写真を示す。このセラミックス二次粒子200の代表的な誘電率は約52となり、比重は約3となる。このときの $TiO_2$ 粒子の体積分率は約40体積%であり、 $SiO_2$ 粒子の体積分率は約60体積%である。このように $TiO_2$ 粒子および $SiO_2$ 粒子を複合化してセラミックス二次粒子を形成した場

合、 $\text{SiO}_2$  粒子を単独で用いる場合に比べて高い誘電率を得ることができる。

【0056】このようにして形成されたセラミックス二次粒子を樹脂組成物中に均一に分散させた混合物により以下に示す方法で三次元周期構造体を製造することができる。

【0057】図5は本発明の一実施例における三次元周期構造体の平面図、図6は図5の三次元周期構造体の正面図、図7は図5の三次元周期構造体の側面図である。図5～図7の三次元周期構造体は、立方格子構造を有する。

【0058】四角形の断面形状を有する複数の棒状体11が周期 $d$ で平行にかつ等間隔で配置される。それにより、第1層目の二次元基本構造体21が形成される。第1層目の二次元基本構造体21上に、複数の棒状体11が周期 $d$ で平行にかつ等間隔で配置される。それにより、第2層目の二次元基本構造体22が形成される。第2層目の二次元基本構造体22の棒状体11は、第1層目の二次元基本構造体21の棒状体11と直角に交わるように配置される。

【0059】第2層目の二次元基本構造体22上に、複数の棒状体11が周期 $d$ で平行にかつ等間隔で配置される。それにより、第3層目の二次元基本構造体23が形成される。第3層目の二次元基本構造体23の棒状体11は、第2層目の二次元基本構造体22の棒状体11と直角に交わり、かつ第1層目の二次元基本構造体21の棒状体11に対して2分の1周期( $d/2$ )ずれた位置に配置される。

【0060】第3層目の二次元基本構造体23上に、複数の棒状体11が周期 $d$ で平行にかつ等間隔で配置される。それにより、第4層目の二次元基本構造体24が形成される。第4層目の二次元基本構造体24の棒状体11は、第3層目の二次元基本構造体23の棒状体11と直角に交わり、かつ第2層目の二次元基本構造体22の棒状体11に対して2分の1周期( $d/2$ )ずれた位置に配置される。

【0061】第1層目の二次元基本構造体21を構成する棒状体11の本数は、第3層目の二次元基本構造体23を構成する棒状体11の本数よりも1本少なく、第4層目の二次元基本構造体24を構成する棒状体11の本数は、第2層目の二次元基本構造体22を構成する棒状体11の本数よりも1本少ない。

【0062】以下同様にして、第1層目の二次元基本構造体21、第2層目の二次元基本構造体22、第3層目の二次元基本構造体23および第4層目の二次元基本構造体24が所定の回数繰り返して順次積層される。

【0063】各棒状体11は、樹脂組成物中に図1、図2または図3に示したセラミックス二次粒子を均一に分散させた混合物を硬化させることにより形成される。樹脂としては、例えばエポキシ樹脂、アクリレート系樹

脂等の種々の合成樹脂を用いることができる。

【0064】図8は図5～図7の三次元周期構造体を構成する二次元基本構造体の1つの棒状体の端部の一部切欠き平面図である。

【0065】図8に示すように、棒状体11を構成する樹脂300中にセラミックス二次粒子200が均一に分散していることが分かる。

【0066】ここで、棒状体11の誘電率を $\epsilon_1$ とする。隣り合う棒状体11間には空間20が存在する。空間20の誘電率を $\epsilon_2$ とする。これにより、誘電率 $\epsilon_1$ の棒状体11と誘電率 $\epsilon_2$ の空間20とが三次元的かつ連続的に配置された格子状の周期的な繰り返し構造が得られる。

【0067】 $\text{TiO}_2$  からなる粒子201の表面を $\text{SiO}_2$  からなる粒子202で被覆することにより図1のセラミックス二次粒子200を形成し、セラミックス二次粒子200をエポキシ樹脂組成物中に均一に分散させた混合物を用いて二次元基本構造体21、22、23、24を作製した場合、それらの二次元基本構造体21、22、23、24の誘電率は約1.1程度となる。このように、高誘電率のフォトニック結晶を構成する三次元周期構造体を作製することができる。

【0068】このように、三次元周期構造体の誘電率を高めることにより、三次元周期構造体の周期を短くすることが可能となる。それにより、三次元周期構造体により実現されるフォトニック結晶デバイスの小型化および軽量化が可能となる。

【0069】各棒状体11の寸法は任意に設定することができ、本実施例では、例えば $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 50\text{mm}$ とする。また、周期 $d$ は任意に設定することができ、本実施例では、周期 $d$ を $0.1\text{mm} \sim 30\text{mm}$ に設定する。一例として、周期 $d$ を $2\text{mm}$ とする。

【0070】なお、本実施例では、四角形の断面形状を有する棒状体11を用いているが、棒状体11の断面形状は円形等の他の形状であってもよい。また、本実施例では、三次元周期構造として立方格子構造を用いているが、立方格子構造に限らず三次元周期性を有する他の結晶構造を用いてもよい。

【0071】本実施例の三次元周期構造体1においては、セラミックス二次粒子を構成する第1のセラミックスからなる粒子および第2のセラミックスからなる粒子の配分比率または樹脂組成物およびセラミックス二次粒子の配分比率を調整することにより、棒状体11の誘電率を容易に調整することができる。それにより、棒状体11の屈折率を任意に調整することができる。また、棒状体11の間隔を任意に設定することにより、周期 $d$ を任意に設定することができる。したがって、任意の波長に対応したフォトニックバンドギャップ効果を得ることが可能になり、特定の波長を有する電磁波を完全に遮蔽することができる。

【0072】特に、周期 $d$ を1mmから3mmに設定した場合、周波数2GHz～8GHzの帯域の電磁波を制御することが可能となる。

【0073】また、棒状体11が樹脂組成物およびセラミックス二次粒子の混合物を硬化させることにより形成されるので、加工および成形が容易であり、製造コストが安くなる。

【0074】図9は図5～図7の三次元周期構造体の製造方法の一例を示す模式的断面図、図10は図5～図7の三次元周期構造体の製造方法の一例を示す模式的斜視図である。以下、図9および図10を参照しながら図5～図7の三次元周期構造体の製造方法の一例について説明する。ここでは、液状の光硬化性樹脂組成物の感光反応を利用した光造形法を用いる。

【0075】図9および図10において、矢印Xおよび矢印Yは平面内で互いに直交する2方向を示し、矢印Zは鉛直方向を示す。

【0076】光硬化性樹脂としてはエポキシ系光硬化性樹脂、アクリレート系光硬化性樹脂等を用いる。この光硬化性樹脂中に図1、図2または図3に示したセラミックス二次粒子を混合し分散させる。

【0077】まず、図9(a)および図10(a)に示すように、テーブル50上に所定の厚み分の液状の光硬化性樹脂組成物が膜状に供給されるように、テーブル50を光硬化性樹脂組成物10に浸漬させる。この状態で、紫外線レーザー光30を矢印Xの方向に走査させる。それにより、紫外線レーザー光30の被照射部分の光硬化性樹脂組成物が硬化し、棒状体11が形成される。紫外線レーザー光30を矢印Xの方向と平行に繰り返し走査させることにより、矢印Xの方向に平行な複数の棒状体11を所定間隔で形成する。これにより、テーブル50上に第1層目の二次元基本構造体が形成される。

【0078】次に、図9(b)および図10(b)に示すように、テーブル50を所定の厚み分矢印Zの方向に下降させる。それにより、テーブル50上に形成された第1層目の二次元基本構造体上に所定の厚み分の液状の光硬化性樹脂組成物が供給される。この状態で、紫外線レーザー光30を矢印Yの方向に走査させる。それにより、紫外線レーザー光30の被照射部分の光硬化性樹脂組成物が硬化し、棒状体11が形成される。紫外線レーザー光30を矢印Yの方向と平行に繰り返し走査させることにより、矢印Yと平行な複数の棒状体11が形成される。それにより、第1層目の二次元基本周期構造体上に第2層目の二次元基本構造体が形成される。

【0079】同様にして、テーブル50を矢印Zの方向に下降させ、紫外線レーザー光30を矢印Xの方向に平行に繰り返し走査させることにより、第3層目の二次元基本構造体を形成し、さらにテーブル50を矢印Zの方向に下降させ、紫外線レーザー光30を矢印Yの方向に平行に繰り返し走査させることにより、第4層目の二次元基

本構造体を形成する。

【0080】以下同様にして、第1層目、第2層目、第3層目および第4層目の二次元基本構造体を所定の回数繰り返し順次積層する。

【0081】このような光造形法を用いると、0.1mm～30mmの周期 $d$ を有する三次元周期構造体1を容易に作製することができる。

【0082】なお、樹脂組成物中に高い誘電率を有するセラミックス粒子を単独で分散させて混合した場合、セラミックス粒子の比重、大きさ、樹脂組成物中のセラミックス粒子の分量、樹脂組成物の光硬化反応におけるセラミックス粒子の光透過特性および反射特性等の種々の条件に起因して、樹脂組成物の光硬化反応を良好に維持することが困難になる場合が生じる。

【0083】これに対して、図1～図3に示したセラミックス二次粒子200、210、220を樹脂組成物中に分散させて混合した場合には、第2のセラミックスからなる粒子202、212または第2のセラミックスの溶融凝固体222の働きにより樹脂組成物の硬化反応を損なうことなく三次元周期構造体を形成することが可能となる。

【0084】図1～図3の例では、二次粒子を構成する誘電体材料としてセラミックスを用いているが、セラミックスに限らず他の誘電体材料を用いてもよい。この場合、第2の誘電体材料としては、光透過特性が良好であり、光硬化性樹脂組成物の光硬化反応性を妨げず、光硬化性樹脂組成物の混合物として流動性に優れた材料を選択することが好ましい。例えば、第2の誘電体材料としてガラスを用いることができ、あるいはラテックス、アクリル等のポリマを用いることができる。この場合、図1の第2のセラミックスからなる粒子202、図2のセラミックスからなる粒子212および図3の溶融凝固体222の代わりにガラス、ポリマ等を用いる。

【0085】図11は本発明の他の実施例における三次元周期構造体の正面図である。図11の三次元周期構造体1においては、一部分に格子欠陥60が設けられている。この格子欠陥60の部分では、周期性が他の部分の周期性と異なる。そのため、格子欠陥60を除く部分で特定の波長を有する電磁波に対するフォトリックバンドギャップ効果が得られ、格子欠陥60の部分では、特定の波長を有する電磁波に対するフォトリックバンドギャップ効果が得られない。

【0086】したがって、格子欠陥60を連続的に形成することにより、特定の波長を有する電磁波を伝搬する導波路が形成される。

【0087】また、三次元周期構造体1に異なる周期性を有する領域を形成し、異なる周期性を有する領域の界面を対向させることにより、特定の波長を有する電磁波に対する共振器を形成することができる。

【0088】このように、三次元周期構造体1の一部に

周期性の異なる部分を設けることにより、電磁波の指向性を制御することができる。

【0089】図12は図5～図7の三次元周期構造体をアンテナに応用した例を示す模式的斜視図である。

【0090】図12において、図5～図7の構造を有する平面状の三次元周期構造体1によりアンテナが形成されている。この三次元周期構造体1の一方の面に1対の電極80が設けられている。三次元周期構造体1が特定の波長を有する電磁波に対する遮蔽効果を有するため、電極80から発生される特定の波長の電磁波100は矢印Aの方向に放射され、矢印Bの方向には放射されない。

【0091】このように、図5～図7の三次元周期構造体1を用いることにより高指向性のアンテナが実現する。三次元周期構造体1の周期dを1mm～3mmに設定した場合、2GHz～80GHzの電磁波に対する波長選択性および高指向性が得られる。

【0092】例えば、飛行船通信に応用する場合、利用が予定されている約30GHzのミリ波帯の電磁波に対して高い誘電率を示す図1、図2または図3のセラミックス二次粒子200、210、220を均一に分散させた樹脂組成物を用いることにより、アンテナに高指向性を付与することができる。

【0093】したがって、図12のアンテナを用いることにより、ミリ波領域およびマイクロ波領域の電磁波を使用する通信機器の出力特性の高性能化が可能となる。また、電磁波が特定の方向に集中するため、エネルギー利用効率が向上し、携帯機器の使用時間を延長することが可能となる。さらに、電磁波の放射角が限定されるので、使用者や他の電子機器に対する電磁障害が防止される。

【0094】以上のように、上記実施例の三次元周期構造体1において、棒状体11の誘電率の選択および周期構造の制御により、特定の波長を有する電磁波を完全に遮蔽することができる。それにより、種々のデバイスに電磁波の波長選択性、指向性および導波機能を付与することができ、特定方向への送信効率の向上および電磁障害の防止が可能となる。

【0095】したがって、三次元周期構造体1を用いて新しい高機能通信機器用の部品の作製が可能となるとともに、通信機器の高出力化に伴って高効率化および電磁障害防止を図ることができる。それにより、グローバル移動体通信、超高速インターネット、ビデオオンデマンド、高品位テレビ伝送などを利用したマルチメディア社会に必要な高速大容量通信インフラストラクチャおよび電磁波障害に強い通信システムを提供することが可能となる。

【0096】また、高指向性マイクロ波移動体通信機用のアンテナの量産技術を提供することにより、人工衛星を利用したグローバル移動体通信システムおよび飛行船

を中継基地とする高速大容量通信システムにおけるミリ波帯通信機器の高性能化および小型化が可能となる。さらに、自動運転を可能にする高度道路交通システム用のミリ波帯アンテナの高性能化による交通安全世界の実現など、通信環境の一層の発展を期待できる。

【0097】特に、ミリ波帯またはマイクロ波帯通信の高性能化および電磁漏洩に対する安全性を確保する電磁障害防止デバイスとしての製造技術を提供することが可能となる。

【0098】さらに、サブミリ単位の三次元周期構造体1により約80GHz帯のミリ波帯アンテナへの応用が可能となるとともに三次元周期構造体1を利用したアンテナ以外の多種多様なデバイスの製作が可能となる。

【0099】また、光領域においては、高効率のレーザ発振を可能とする光共振器、光導波路等の実現が可能となる。

【0100】また、三次元周期構造体の誘電率を高めることにより、三次元周期構造体の周期を短くすることが可能となる。それにより、三次元周期構造体により実現されるフォトニック結晶デバイスの小型化および軽量化が可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における三次元周期構造体の形成に用いるセラミックス二次粒子第1の例を示す模式図である。

【図2】本発明の一実施例における三次元周期構造体の形成に用いるセラミックス二次粒子の第2の例を示す模式図である。

【図3】本発明の一実施例における三次元周期構造体の形成に用いるセラミックス二次粒子の第3の例を示す模式図である。

【図4】第1の例のセラミックス二次粒子の顕微鏡写真を示す図である。

【図5】本発明の一実施例における三次元周期構造体の平面図である。

【図6】図4の三次元周期構造体の正面図である。

【図7】図1の三次元周期構造体の側面図である。

【図8】図5～図7の三次元周期構造体を構成する二次元基本構造体の1つの棒状部材の端部の一部切欠き平面図である。

【図9】図5～図7の三次元周期構造体の製造方法の一例を示す模式的断面図である。

【図10】図5～図7の三次元周期構造体の製造方法の一例を示す模式的斜視図である。

【図11】本発明の他の実施例における三次元周期構造体の正面図である。

【図12】図5～図7の三次元周期構造体をアンテナに応用した例を示す模式的斜視図である。

#### 【符号の説明】

1 三次元周期構造体

- ## 10 光硬化性樹脂組成物

- ## 1.1 棒状体

- 20 空間

- ## 2 1 ~ 2 4 二次元基本構造体

- ### 30 紫外線レーザー光

- 60 格子欠陥

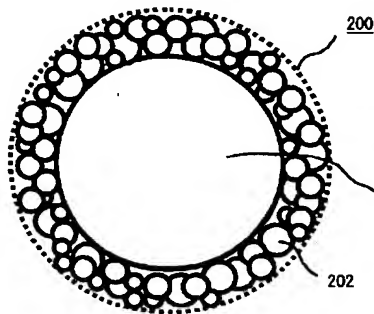
- 200, 210, 220 セラミックス二次粒子

- 201, 211, 221 第1のセラミックスからなる粒子

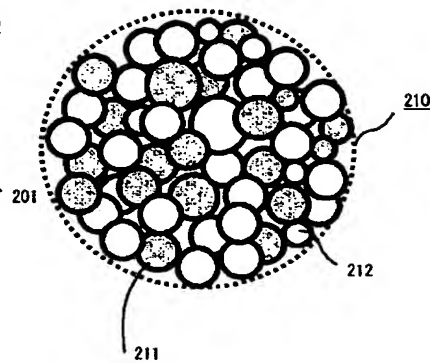
- 202, 212 第2のセラミックスからなる粒子

- ## 222 第2のセラミックスの熔融凝固体

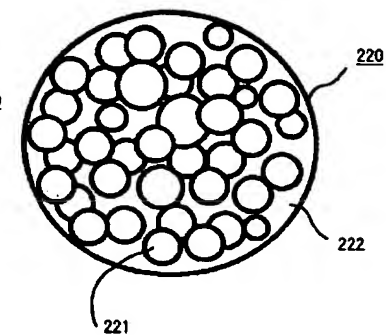
【図 1】



【図 2】



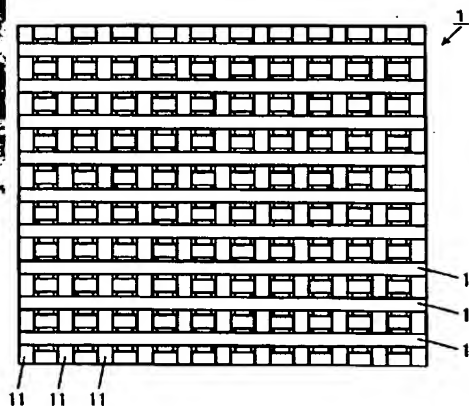
【図 3】



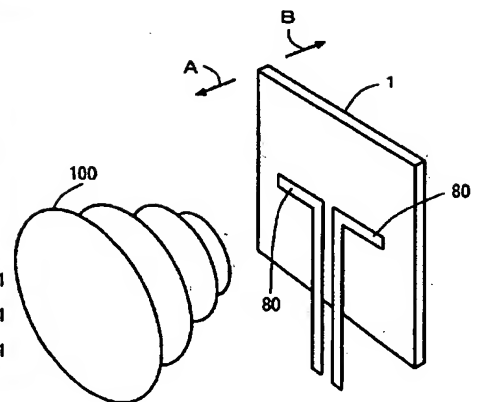
【図 4】



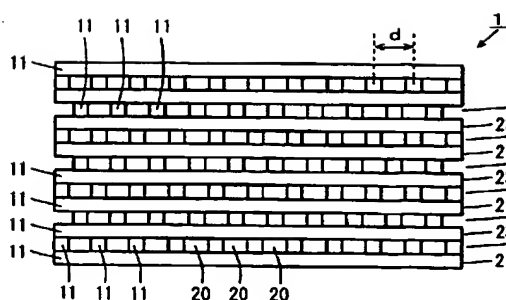
【图 5】.



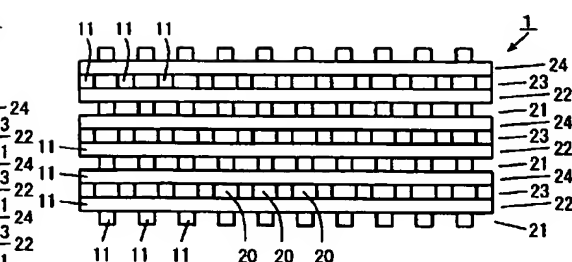
【图 12】



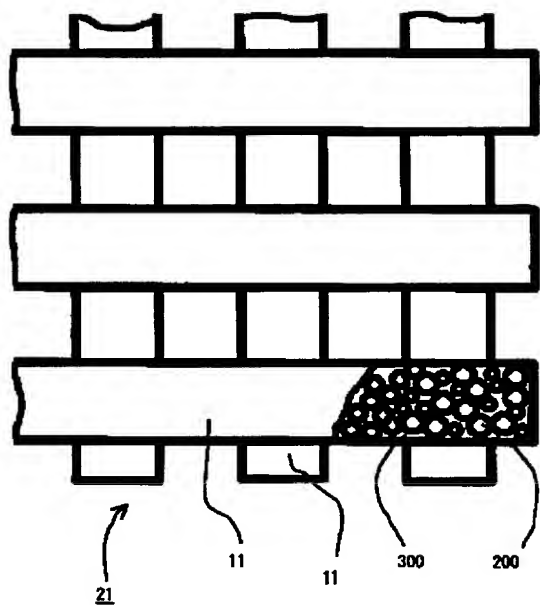
【图 6】



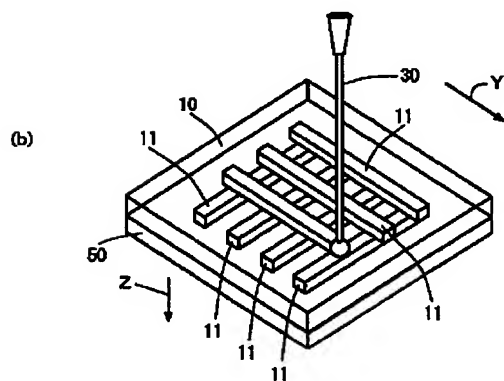
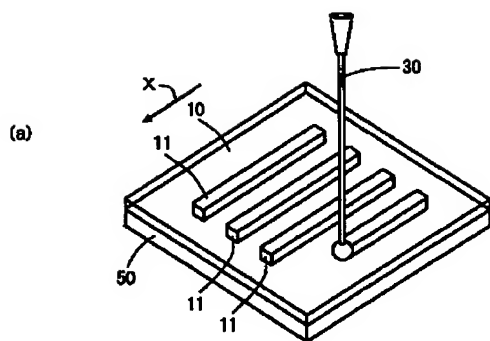
【図 7】



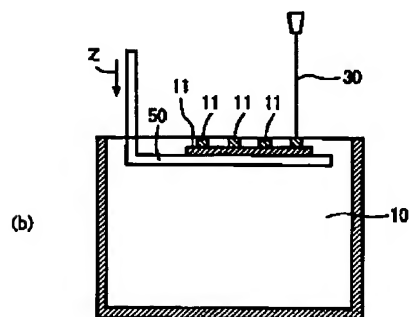
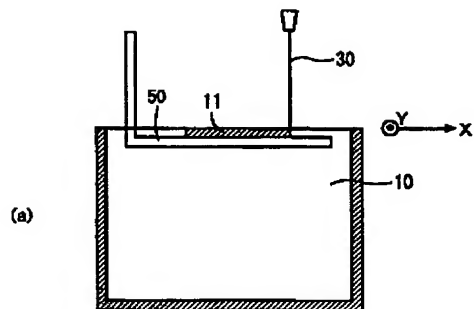
【図 8】



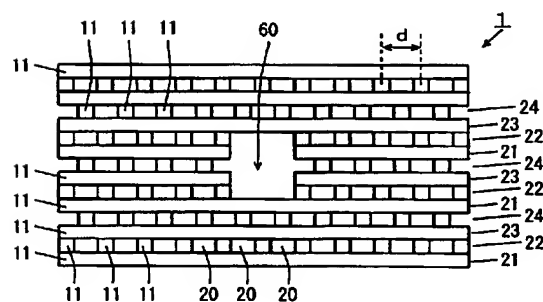
【図 10】



【図 9】



【図 11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)	
G 0 2 B	6/12	H 0 5 K	9/00	W 5 J 0 4 6
H 0 5 K	9/00	H 0 1 Q	1/38	
// H 0 1 Q	1/38		9/16	
	9/16	H 0 1 S	5/20	
H 0 1 S	5/20	G 0 2 B	6/12	Z
				N

(72) 発明者 桐原 聡秀  
 大阪府箕面市栗生新家 2-1-27 ヴェル  
 ドミール205号室

(72) 発明者 田上 英二郎  
 東京都中央区築地 2丁目11番24号 ジェイ  
 エスアール株式会社内

F ターム (参考) 2H047 QA00 QA04 QA05  
 4F071 AA31 AA42 AB18 AB19 AH12  
 BC07  
 4J002 AA001 BG001 CD001 DE096  
 DE136 DE186 FD126 GP00  
 GQ00  
 5E321 BB51 BB60 GG05  
 5F073 BA01 EA14  
 5J046 AA01 AB07 BA03 KA07 UA03  
 UA08

(C 2001) 2001/04/26 2001/04/26

**THIS PAGE BLANK (USDT )**